

# 石油微生物学

PETROLEUM MICROBIOLOGY

李虞庚 冯世功 编译

秦同洛 审校



上海交通大学出版社

# 石油微生物学

李虞庚 冯世功 编译

秦同洛 审校

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书密切结合石油地质、石油勘探、开采等研究介绍了石油微生物的各个方面,全书共分四篇十三章近300个论题,列举了大量的图表和数据,比较系统和全面地介绍了沉积来源、土壤、地下水等微生物活动;石油勘探、开采、化学产品的生物合成、废油处理等微生物活动和石油工业的有利关系;金属腐蚀、油层堵塞、钻井液添加剂中的微生物分解、污染对石油工业的有害活动。最后介绍了当代世界上美、苏等7个产油国家的微生物采油现场试验,为三次采油开辟了新途径。

## 石 油 微 生 物 学

出 版: 上海交通大学出版社  
(淮海中路1984弄19号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 常熟市文化印刷厂

开 本: 787×1092(毫米) 1/16

印 张: 30.75

字 数: 762000

版 次: 1991年5月 第1版

印 次: 1991年8月 第1次

印 数: 1—2000

科目: 245—323

ISBN 7-313-00832-5/TE·1

定 价: 20.00 元

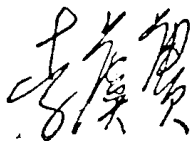
# 序 言

《石油微生物学》一书，主要报道了微生物活动与石油地质学和地球化学的关系，有利于石油工艺的微生物活动，对石油工业有害的微生物活动，工业规模微生物采油等。

微生物活动在世界上至少已有 30 亿年，在 10 亿年前的寒武纪元古代沉积物中就有发现。许多复杂化合物的转化是在微生物的作用下进行的，微生物与石油工业有着密切的联系，它已深入到石油工业的各个领域和生产环节。微生物学的应用随着石油工业的发展，已因其变化复杂成为科学尖端，人们日益重视微生物的研究和应用，且已发展成一门学科。为了满足广大读者的需要，我们编译了《石油微生物学》一书。本书根据美国戴维斯 (J. B. Davis) 及全世界近千位生物学家、生物化学家、石油地质学家撰写的 870 余篇科学论文编译而成，集世界之大全。

全书分四个部分，共十三章，近 300 个论题，列举了大量的图表和数据，比较系统和全面地从沉积来源、土壤、地下水等论述了微生物活动与石油地质学和地球化学的关系；从石油勘探、开采、化学产品的生物合成、废油处理等论述了微生物活动与石油工业的有利关系；从金属腐蚀、油层堵塞、钻井添加剂的分解作用、微生物污染与石油产品的变质等论述了微生物对石油工业的有害活动；其最后部分介绍了当代世界上美、苏等七个产油国家进行工业规模现场试验微生物采油取得显著成果的较完整资料，使微生物活动进入了三次采油的领域，为深井稠油开采提供了新的手段，为提高采收率提供了新的途径。

书中积累了半个世纪以来对微生物活动所作的调查研究和科学试验等极为珍贵的文献，是石油部门展开石油微生物研究的重要科研资料。《石油微生物学》一书中的重要理论著述，对于油田科研技术人员、生产管理人员、石油大专院校师生均有实用参考价值。



# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 绪论                    | 1   |
| 第一篇 微生物活动与石油地质学和地球化学的关系   |     |
| 第二章 沉积来源                  | 12  |
| § 2.1 石油的有机或生物母质          | 12  |
| § 2.2 微生物方面的发展            | 21  |
| § 2.3 沉积随时间的变化            | 29  |
| § 2.4 原油组分                | 37  |
| § 2.5 原生石油                | 41  |
| § 2.6 石油与生油沉积化合物之间的关系     | 50  |
| § 2.7 生物硫及其与石油的关系         | 53  |
| § 2.8 碳同位素和氢同位素的微生物分离     | 60  |
| § 2.9 化石微生物               | 61  |
| 第三章 土壤                    | 66  |
| § 3.1 土壤与古代沉积             | 66  |
| § 3.2 地表油苗                | 67  |
| § 3.3 土壤微生物对石油的利用         | 74  |
| § 3.4 土壤气体                | 81  |
| § 3.5 土壤有机物质              | 92  |
| § 3.6 微生物效应的总结            | 98  |
| 第四章 地下水                   | 99  |
| § 4.1 地下水类型               | 99  |
| § 4.2 微生物活动与地下水的关系        | 103 |
| § 4.3 影响在地下水中硫酸盐还原细菌活动的因素 | 109 |
| § 4.4 不封闭和封闭的地下油藏         | 114 |
| § 4.5 含油水区中地下水细菌学和化学      | 117 |
| § 4.6 作为石油标志的地下水组分        | 127 |
| 第二篇 有利于石油工艺的微生物活动         |     |
| 第五章 石油勘探                  | 138 |
| § 5.1 甲烷的氧化               | 138 |
| § 5.2 氧化乙烷和丙烷细菌的特性        | 144 |
| § 5.3 微生物勘探石油的方法          | 147 |
| § 5.4 平皿培养法计算氧化乙烷细菌       | 159 |
| § 5.5 利用放射性乙烷测定乙烷氧化作用     | 162 |

|             |                                             |            |
|-------------|---------------------------------------------|------------|
| § 5.6       | 作为氧化烃类细菌标志的醇类氧化 .....                       | 166        |
| § 5.7       | 地下水的微生物勘探 .....                             | 167        |
| § 5.8       | 微生物学勘探石油的其他推荐方法 .....                       | 169        |
| <b>第六章</b>  | <b>二次采油 .....</b>                           | <b>171</b> |
| § 6.1       | 美国石油学会(A.P.I.) 43 A <sup>+</sup> 科研项目 ..... | 172        |
| § 6.2       | 硫酸盐还原细菌释放石油的实验室试验 .....                     | 174        |
| § 6.3       | 细菌释放石油的现场试验 .....                           | 185        |
| § 6.4       | 用细菌芽孢接种含油岩层 .....                           | 193        |
| § 6.5       | 二次采油中微生物产物的应用 .....                         | 194        |
| § 6.6       | 微生物处理油页岩和油砂 .....                           | 195        |
| <b>第七章</b>  | <b>化学产品的生物合成 .....</b>                      | <b>196</b> |
| § 7.1       | 微生物胞内产物 .....                               | 197        |
| § 7.2       | 微生物胞外产物 .....                               | 220        |
| <b>第八章</b>  | <b>污水处理 .....</b>                           | <b>241</b> |
| § 8.1       | 含油废液的微生物分解 .....                            | 241        |
| § 8.2       | 石油基洗涤剂的微生物分解 .....                          | 264        |
| <b>第三篇</b>  | <b>对石油工业有害的微生物活动 .....</b>                  | <b>272</b> |
| <b>第九章</b>  | <b>金属腐蚀 .....</b>                           | <b>272</b> |
| § 9.1       | 微生物腐蚀的一般情况 .....                            | 272        |
| § 9.2       | 硫酸盐还原细菌引起的腐蚀 .....                          | 285        |
| § 9.3       | 细菌腐蚀的预防 .....                               | 291        |
| § 9.4       | 贮油罐与燃料供应系统的腐蚀 .....                         | 296        |
| <b>第十章</b>  | <b>油层堵塞 .....</b>                           | <b>299</b> |
| § 10.1      | 注水的例子 .....                                 | 299        |
| § 10.2      | 对微生物效应的评价 .....                             | 300        |
| § 10.3      | 注入水中的主要微生物 .....                            | 302        |
| § 10.4      | 微生物抑制剂的评定 .....                             | 316        |
| <b>第十一章</b> | <b>钻井泥浆添加剂的分解 .....</b>                     | <b>320</b> |
| § 11.1      | 钻井液的有机添加剂 .....                             | 322        |
| § 11.2      | 对微生物抑制剂的评价 .....                            | 331        |
| § 11.3      | 作为微生物污染源的钻井泥浆 .....                         | 332        |
| <b>第十二章</b> | <b>石油产品的微生物污染与变质 .....</b>                  | <b>335</b> |
| § 12.1      | 与燃料伴生的微生物活动 .....                           | 336        |
| § 12.2      | 切削油乳液中的微生物活动 .....                          | 348        |
| § 12.3      | 沥青的微生物降解 .....                              | 359        |
| <b>第四篇</b>  | <b>工业规模微生物采油 .....</b>                      | <b>364</b> |
| <b>第十三章</b> | <b>微生物采油的现场试验 .....</b>                     | <b>364</b> |
| § 13.1      | 导言 .....                                    | 364        |
| § 13.2      | 微生物采油的历史背景 .....                            | 364        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| § 13.3 微生物采油现场试验 ..... | 365 |
| § 13.4 结束语 .....       | 434 |
| 拉英汉细菌名称对照表 .....       | 436 |
| 参考文献 .....             | 442 |
| 后记 .....               | 483 |

# 第一章 绪 论

石油微生物阐述了与石油工业有关的微生物活动。比尔斯切尔 (Beerstocheer, 1954) 在业已绝版的一本书中对这门科学中的大量的文献作了评论。十年后, 观点虽然有所变化, 但是石油微生物学的主要的纲要仍然是相同的。微生物学最初在石油工业中是众多学科中不显眼的学科之一, 现在已在各种工业问题中得到了应用。微生物学的应用源于巨大的石油工业的发展, 这一工业已因其变化复杂而变得在科学上更为精细。

在石油工业发展的早期, 无论是石油技术专家还是微生物学家却都没有意识到微生物活动与石油工业之间的关系, 这不能由微生物学家单独来负责, 同样也不由石油工艺专家单独负责, 而只是各自把它与其他的学科结合起来。微生物在石油工业许多方面所起的作用两者相互进行逐渐认识的。有例为证, 在 30 年代除了索金 (Söhngen, 1913)、陶桑 (Tausson, 1925) 两位生物学家关于氧化烃类细菌的早期研究工作而外, 俄国的地质学家 G. A. 莫吉列夫斯基 (G. A. Mogilevskii) 认识到了利用细菌对烃的氧化作用作为勘探手段。在早期工作中, 他得到了俄国微生物学家 V. S. 布特科维契 (V. S. Butkevich) 的帮助, 在 40 年代, 对沉积源感到兴趣的美国石油地质学家得到了具有海洋微生物学背景为基础的微生物学家 C. E. 佐贝尔 (C. E. ZoBell) 的关心和支持。于是, 当这些关系变得明确时, 微生物学开始应用到石油工业并逐渐得到了发展。

研究微生物和微生物活动的微生物学已大大地超出了专门研究细菌的细菌学范畴“微生物学”其意义并不是“微型生物学”, 必须迅速地指明所要研究的微生物。在本书中所讨论的微生物, 主要包括细菌、放线菌纲、丝状真菌和酵母, 以及一些有关藻类和原生动物门。这些都是沉积物、土壤和水中的微生物栖息物。而前面的四种组成了自然界中有机质的主要成矿者 (图 1)。它们与石油工艺学的关系在以后各章中将变得更明确。

仅对图 1 中所包括的微生物作一个简单的叙述被认为对随后所作的讨论是有必要的也是所希望的 (参看表 1)。

在图 1 中所示的所有微生物类型能利用烃类的代表是众所周知的, 而且是多年来已经清楚了。因此, 对微生物学的烷类利用本身的有关的详细的观测和报导, 不是我们今后讨论的目的。在图 2 中表示了对烃类中的微生物作同样处理时的不同变化。在这种情况下, 有各种抗菌素存在而它们都是有机化合物。这些例子被用来强调说明一种特殊处理或者特定的条件, 抑制了某些微生物类型而在实际上可以促进别的类型的生长。在自然界中, 微生物区系是随着诸如湿度, 当时能得到的有机质类型、pH 值和氧化还原电位等情况的变化而变化的。当土壤中氧化烃类微生物与烃类相接触时, 当它们生长时就合成出蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素和核酸, 并把碳素物质掺入到它们的细胞内 (图 3)。必须得到适宜的湿度、氧和矿质营养以记录对一个明显的反应。实质上, 这就是选择培养或加富培养的原理; 从自然界微生物中选择出感兴趣的微生物以进一步研究它们的特性和潜力。

例如, 烃类分解细菌在形态学中可能有着显著的变化, 而且有关它的或对特定的烃类的利用情况和利用率也有很大的变化。图 4 和图 5 是从土壤中分解出来的利用石蜡族烃的两



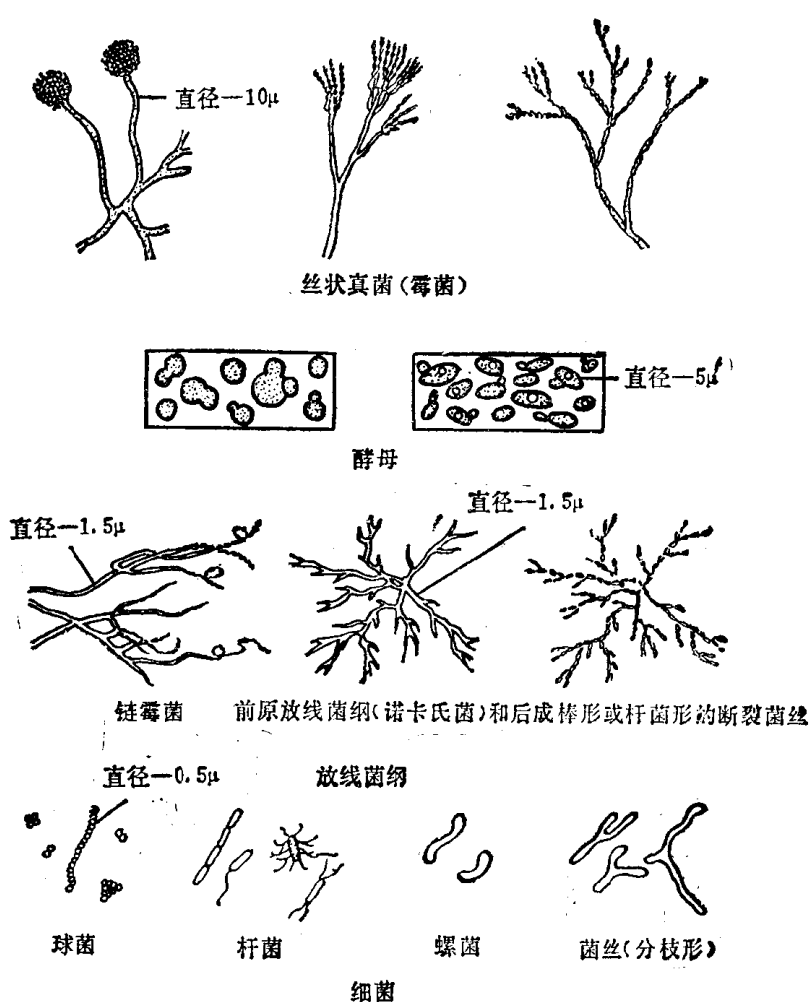


图1 能矿化有机质的微生物

表1 参与自然界有机质矿化的微生物类型的简述\*

#### 裂殖菌——细菌和放线菌纲

大部分细菌利用有机质的某些类型(有些是自养的,他们利用源自太阳的能或无机化合物氧化等能源产生  $\text{CO}_2$ , 作为唯一的炭源);有些产生孢子;有些是厌氧的;有些是游动的;有些是着色的或是产生水溶性的、可扩散的色素。总体上说细菌活动的最大范围, pH 值 1—10 温度 0—75℃ (译注: 现在培养的嗜热菌已达 230—290℃)。有些细菌能够经受住超过 25000 磅/平方英寸的压力。放线菌纲是极为常见的土壤菌类型, 特别是链霉菌属、诺卡氏菌属和小单孢菌属。放线菌纲有分解土壤有机质的活性并使新翻动的肥土有特殊气味。在腐烂的木材、叶子和别的植被上可以观察到白色粉状菌落。

#### 真菌——丝状真菌(霉菌)和酵母

丝状真菌分解土壤有机质也极为活跃, 包括藻状菌类、子囊菌类、担子菌类和(无性)半知菌类。大量的孢子是这些类型产生的。酵母在前面三种真菌纲中都有代表;而且是基于含有单细胞生长性能的一种非均质类型。因此, 它们并不成为微生物中一种独立的纲。酵母的形成生长经常受到环境的影响。

\* 这些菌纲与藻类和原生动物门一起, 被有些微生物学家看作构成第三界, 即把它们从植物界和动物界中分离出来。这是因为细菌、酵母、藻类和原生动物门具有一种共有的相对简单的结构。有很多是单细胞, 并且没有一种表现出具有高等动植物个别组织特征的差异(斯坦勒等, 1957)。所有的藻类都是光合的, 原生动物门是细菌捕食者, 归根结底两者都被细菌和藻类所矿化。

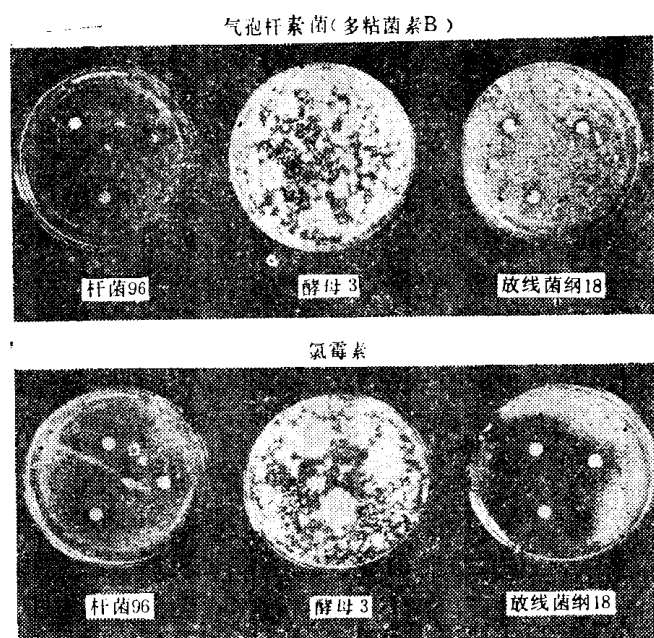


图2 在存在抗生氯霉素或多粘菌素B浸渍圆盘的情况下,以乙烷作为碳源细菌、丝状细菌(霉菌)和放线菌的生长透明区表示微生物生长受到抑制;围绕圆盘(霉菌3,氯霉素)的生长浓缩物表示可以利用的抗菌素。

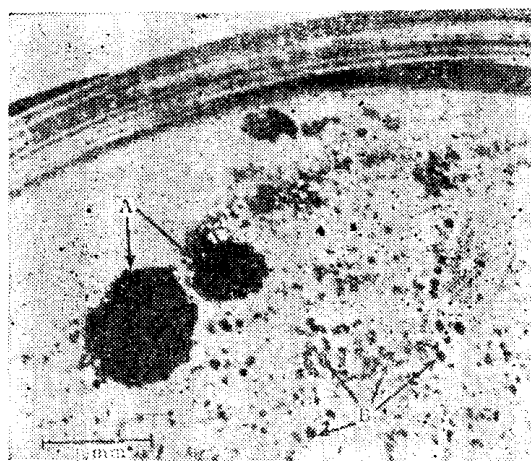


图3 把从土粒中(B)发育的细菌菌落(A)喷洒在矿物盐琼脂介质的表面上,并在乙烷和空气条件下进行培养

个细菌类型。

在烃类分解细菌的培养和分离中也会碰到别的细菌,它们趋向于持续在培养物中,并且使分离程序复杂化。在有些例子中,受到污染的菌型会没有分解烃类的能力,如图6中所表示的那些细菌。

现在,全世界从事与石油微生物学有关科研项目的专家数字,很难作出准确的判断。但是很保险地说这一数字比20年前要增大50倍。显然重点是放在有关微生物活动的有害方面的直接使用或“技术服务”上。要在油层中,贮油罐中、钻井泥浆中、金属切削用乳化油冷却剂中以及在进行二次采油的注入水中杀死或抑制微生物,所花的力量都远远超过了有关微生物类型和促进其生长及活动的条件所作的研究。同样清楚的是为了提出有效地抑制它们方法,了解微生物活动是最为有效的。

把应用微生物学导向“正的”目的的研究,例如,对找油,从地下油层中采油,把石油转化成化学产物和食品添加剂,以及石油废品的处理等等对于基础知识在某种程度上作出了贡献。至于试图把微生物学原理应用于新的领域中,自然会得到一些信息。这样应用科学并不能仅只依靠已经积累的知识。我们只需要提到路易斯·巴斯德(Louis Pasteur),他可能是所有时代中在微生物学领域中最伟大的应用科学家。但是,这点也是确实的,巴斯德有着一种不可抗拒的好奇心,这是这类人物的一种标志,不管他们本身特有的兴趣和所从事的工作如何,他们都推进了科学的发展。

石油微生物学包括三个方面:与石油地质学和地球化学有关的微生物活动,与石油工业有益的微生物活动,和对石油工业有害的微生物活动。这些问题将分别在第一、二、三部分中加以论述。

在第一部分中论述了与石油地质学和地球化学有关的微生物,包括三类环境、即原岩沉积、土壤以及地下水等三个方面。分别在第二、三、四章中阐述。所讨论的微生物主要是能改造有机质的那些微生物,也就是说引起沉积物中有机质或石油生物化学变化的那些微生物,而不是那些仅只把它们尸体供献给自然分解(或防腐)作用的微生物。除去最近发展的孢粉学即包括化石真菌孢子在内的化石花粉和化石孢子的研究领域而外,微体古生物学并不包括在石油微生物学领域之内。

原岩沉积就是那些含有最后能成为石油的有机质的沉积物。特别强调了原生石油的生物起源和历史发展以及对微生物学方面的了解。沉积有机质的微生物降解是主题。对由微生物产生的烃类以及微生物在有机质循环中的作用、黄铁矿的形成,还原状态和碳、硫、氢的同位素分馏中的作用进行了论述。人们只要注意一下目前开采的德克萨斯州沿着墨西哥湾沿岸巨大的硫聚集(实际上是由硫酸盐还原细菌在完成微生物的代谢作用而形成的)就可以认识到微生物地质活动的规模。库兹涅索夫(Kuznetsov, 1963)等人在《地质微生物学导论》一书中对地质微生物学作了评述。正如像人类继续对地球及其自然过程的知识不断的扩展和发展那样,这个新的领域也将得到发展和深入。



图4 从土壤中分离出的乙烷分解分枝杆菌

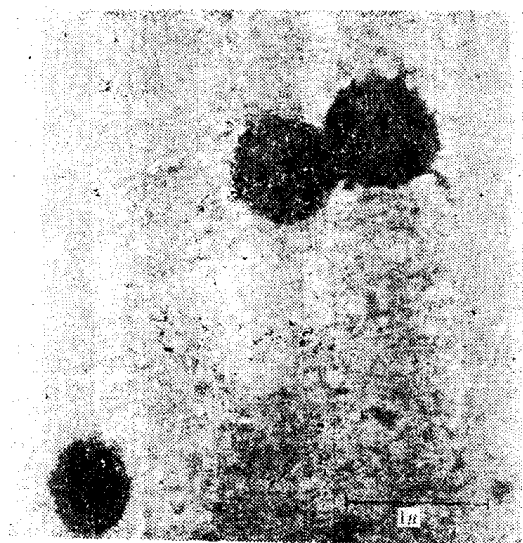


图5 从土壤中分离出的十六烷分解分枝杆菌



图6 与氧化乙烷分枝杆菌培养物伴生的红色细菌。这些细菌仅在乙烷中是不能生长的

在本书《石油微生物学》卷中论述的微生物活动特别与石油地质学(而不是普通地质学)有关。微生物学的硫沉积与石油地质学有关,因此也包括在内。微生物的硫酸盐还原和硫代谢的地球化学方面,是一个活跃的重要领域(Jensen, 1962),由加拿大索德(Thode)等人利用  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  同位素分离(1951)进行了研究。伊万诺夫(Ivanov, 1964)在莫斯科出了一本书,书名为《微生物学在自然硫沉积成因中所起的作用》。加拿大、美国、英国、苏联等均对此书作过评论,并另写了一些书。该书包括一些感兴趣的与放射( $^{35}\text{S}$ )硫化物的细菌代谢有关的数据。

除寻找石油这个重大目标外,书后参考文献还介绍了地质师和地球化学家在对这些长期沉积的认识中,如何探讨了沉积成因的微生物学问题。讨论是从沉积盆地划定界限开始的。关于一系列重大事项,诸如沉积、有机质诱发变异、流体动力学、石油组分的变化,或者从沉积环境到储油岩石形成和圈闭的原生石油等的研究,是现代石油勘探工艺师不断关心的事物。

微生物学的调查研究并不与石油组分有关的沉积环境中有机化合物的地球化学的调查研究齐步前进。因此,所涉及到的微生物学过程在很大程度上是根据地球化学家的推论或臆测。无疑,下文中论述的目的之一是促使注意并试图考虑与石油地球化学有关的微生物学和生物化学的调查研究。很明显,数据是需要的,但不能推测。关于有机沉积提取物的研究,特别是对卟啉和其它显而易见由生物所衍生的组分的研究,在探讨沉积有机质对石油的变化方面有很大的价值。微生物在沉积物中的活动,一般来讲只稍微了解一点。因为这些活动大部分在沉积环境中早已发生。它的重要性在石油成因中有被忽视的趋势。

例如自从很早探讨微生物细胞和它的产物组成关系时候起,就已十分清楚细菌并非吸入有机化合物,然后分泌出石油作为一种特殊产物。可是,这种合乎情理的事实并不排除微

生物在合成石油组分中所起的作用。因此,已知在各种各样情况下的微生物合成过程,至低限度应该给予与高等生物及其对石油生成所作的贡献同等的好奇心来探索。关于微生物胞内合成的烃类及其有关化合物的知识是极少的。但是,平心而论用现代分析方法来观察这种关系下的微生物细胞也是极少的。阿尔布罗(Albro)和赫斯登(Huston, 1964)用色谱仪测定而记下的膝黄八叠球菌的脂质的 20% 是由烃类组成的。第三章中论述了微生物胞内所产生的烃类。由真菌孢子从脂肪酸中生产甲基酮产物是一个引人感兴趣的,并且或许是很恰当的观测,[杰里格(Gehrig, 1958)和克耐特(Knight, 1961)]。这可能是在沉积环境中靠微生物水解甘油脂和蜡质而释放出的脂肪酸转化为链烷烃过程中微生物学上很重要的一步。

烃类的合成仅仅是沉积环境中微生物所起作用的一个方面。这个作用的大小在特性上是基于自然界中大多数有机质的最终的微生物分解或改造。以煤和石油等化石燃料为例,说明有机物质避免了全部被微生物所分解或矿化。沉积物中改造有机化合物的物理—化学过程的途径,毫无疑问在相当大的程度上是微生物学的一级反应来控制的,不仅涉及到有机分子的特定的微生物学的改变,而且还由于微生物活动对沉积环境的总的影响。

在第二、四、九章中所论述的硫酸盐还原细菌是值得注意的微生物。与石油微生物学有着特殊的关系。这类厌氧细菌(图 7) 是造成把大量的硫酸盐离子还原成硫化物离子的重要地质因素。硫酸盐的还原作用还伴随着范围宽广的有机质利用(表 2) 造成的各种各样现

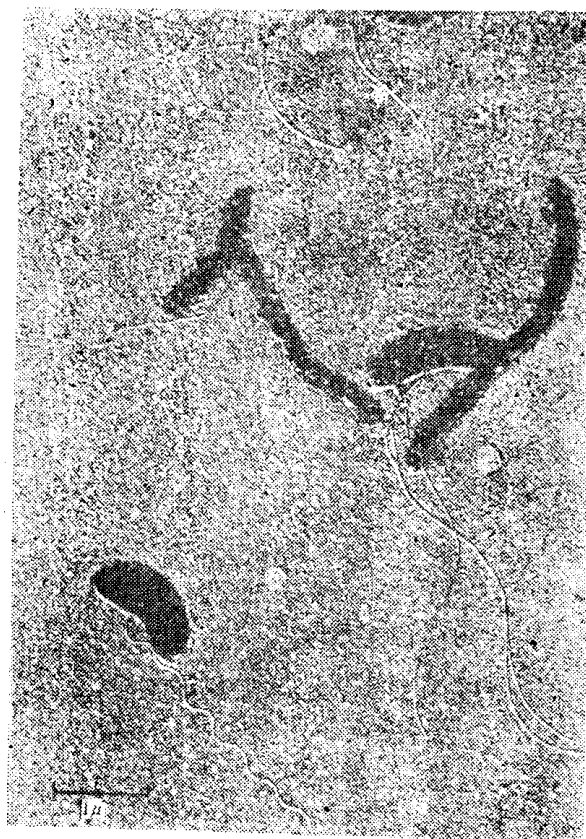


图 7 与别的死细菌和部分自溶细菌伴生的硫酸盐还原细菌的弯曲形肾鞭毛杆菌。硫酸盐还原细菌经常是在环境或由厌氧硫酸盐还原细菌产生可利用的有机物质情况下,在需氧细菌利用掉在周围环境中的有效氧以后才变成有活性。前面这一类细菌归类为杆菌属螺菌属、微螺菌属弧菌属或脱硫弧菌属。脱硫弧菌已公认为这种类型的菌种(布雷德,1957)

象。这些细菌对沉积环境具有深刻的影响能引起块状硫矿床,并且引起铁和钢腐蚀。此外,当环境变成厌氧时,它们在各种各样含有有机质的环境下持续不断地活动形成一种讨厌的气味和腐败现象。

石油地质家和地球化学家考虑到地下石油现象时研究地球表面的第一个判据是沉积岩。当岩层在地表露头时微生物活动特别是氧化过程能改变沉积岩中的有机质。

地表的石油漏失以液体石油类和天然气的形态出现,它们被微生物所利用和改造。这些变化在第三章中作了详细论述。历史上人类试图利用探测石油气和液态烃,以及它们对土壤有机质组成的影响而找到石油,对此根据微生物的影响作了论述。所谓“石蜡垢”就是概括上述关系的经典的地质微生物学的例子。

与海水和其它水生沉积相似,土壤构成了一种微生物反应的主要环境。由于容易接触对农业土壤中的微生物学要比水生沉积的微生物学了解得更好些,事实上,我们对水生沉积中的某些微生物学的理解和某些推测都是基于土壤微生物学的。

表 2 与石油微生物学有关的硫酸盐还原细菌活动\*所产生的硫化物

| 环 境                      | 表 现 形 式                                                                                                                          |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水生沉积物,特别是海相<br>土壤和地表水    | 保持低氧化还原电势,铁以 $\text{FeS}$ 的形式沉淀, $\text{pH}$ 值升高<br>加快铁和钢的腐蚀,铁以 $\text{FeS}$ 的方式沉淀, $\text{pH}$ 值升高,加快 $\text{CaCO}_3$ 沉淀,促进硫的淀积 |
| 地下水                      | 在石灰岩油藏中沉淀分解石,加快硫的淀积,及油井的腐蚀;明显地对与石油有关的地下水组分有深刻的影响                                                                                 |
| 钻井泥浆水,与石油燃料贮存有关联的水,特别是海水 | 变质,恶臭味,腐蚀油井套管变质或腐蚀燃料                                                                                                             |
| 金属切削用乳化油                 | 由于铁( $\text{FeS}$ )沉淀造成乳化液“上兰”,变质,恶臭味                                                                                            |

\* 主要反应:  $\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H} \longrightarrow \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}$  主要来自有机质;硫酸盐还原作用能释放出强碱性的阳离子,如  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{Na}^+$  (例如  $\text{CaSO}_4 + 8\text{H} \longrightarrow \frac{1}{2}\text{Ca}(\text{HS}) + \frac{1}{2}\text{Ca}(\text{OH}) + 3\text{H}_2\text{O}$ )。从有机质产生的二氧化碳将对钙离子起反应。硫酸盐还原作用中产生的硫化氢能对铁或其它金属起反应,扩散或氧化成自然硫。

作为与石油地质学有关的微生物活动的一部分,试图把地下水中微生物有关的活动,与那些与石油聚集有关的活动联系起来。这一领域主要在苏联得到了发展,但是在美国或在欧洲也并未忽视。对微生物来自地下本土的这一问题的论述,并引证了专门的调查研究。

着重考虑了地下水在石油聚集和改造中的作用。细菌显然是与地下水输送的有机质有联系,而且细菌也能影响水中的无机变化。细菌在有些石油聚集地区是活动的,并包括了在这种环境情况下细菌作为石油标志的论述。

在沉积源岩土壤和地下水中的微生物活动可以进行观察、研究和描述,并与地质事件相关连。对这些活动的知识是基础性的,不能称为应用微生物学。但是很明显,这些环境中的微生物活动的知识对石油微生物学应用的实践是有价值的。本书的第二和第三部分特别与应用方面有关。

应用石油微生物学同时涉及到微生物的有益和有害的活动。当然,在医药卫生、农业和工业方面通常是适合应用微生物学的。例如,在医药卫生领域我们要消除或防止饮水和食物中含有微生物,但是我们用微生物来处理我们的污水。致病微生物可以用微生物发酵作用

产生的抗菌素来抵制。在农业方面,微生物对有机和无机营养循环中所起的极重要的作用是令人鼓舞的。但是微生物对作物所起的坏作用也是要经常给予关注的。有些工业,如罐头工业经常与微生物的危害作斗争。但是其它工业,如制酒、啤酒酿造和干酪制造工业等却明显地要依靠有益的微生物活动,或者至少在某种程度上对微生物的活动是值得称颂的。

自从比尔斯彻尔(1954)论述微生物学勘探石油以来,苏联、美国和某些地区在这方面已作了大量的工作。苏联在比尔斯彻尔以前所作的当时没有发表的一些调查报告也可以获得了。苏联使用各种方法所作的研究工作作的摘要和美国所进行的研究的比较性评述均包括在第二部分中。

在佐贝尔的研究所中大约 20 年前就用硫酸盐还原细菌和有名的加拿大阿撒巴斯卡(Athabaska)焦油砂样品作了利用微生物从地下油藏中提高采收率的实验室试验。这个试验引起了世界各地的一系列有趣的试验,关于所用的微生物类型以及在油藏中激发它们的地下活性所使用的方法已经完全改变了。

利用微生物从原已认为枯竭的储油岩石中释放石油的诱惑力,确实在美国激励了石油微生物学的研究。有时,耽心微生物对石油工业可能发生短暂的影响,实际上发展是接近保持科学开发油田的速度;当今油田开发正以十年前仅为设想的思路在扩大。由于油层孔隙度和渗透率的物理因素等影响,利用微生物再次采油确实有其较大的局限性,但是技术上成功的油田试验已经完成,且证实微生物在地下岩石中能够生长并进行一系列代谢活动。

化学产品的生物合成涉及到依靠烃类被微生物代谢而生产出对人类有用的产物。苏联首先把微生物学用于石油勘探,而且在土壤和沉积物的微生物调查研究方面位于前列,但是显然对利用微生物把石油转变成有用的产物这方面没有多大兴趣。过去十年中美国在这一领域中已取得了进展。法国着重于将石油变成酵母蛋白。日本对此也有很大兴趣。有证据表明苏联以及别的地方对这方面的兴趣也在增长。

生物合成一章中论述了许多有趣的生物化学反应和各种各样的微生物。基于微生物从气态液态烃类中所产生的胞内和胞外产物的很高的产率,人们可以预测在这一领域中有着有希望的前景,从严格的学术观点看并不对烃类氧化本身十分强调,这是需要专门评述的一个主题,已经有了几篇很好的专门评论的文章,最近出版的万德林登(VanDer Linden.)和西捷士(Thijssse, 1965)写的《酶学进展》一书对此作了评述。

在美国应用微生物处理炼油厂的酚类废料已经是一种被接受的实践。美国、苏联、德国和别的国家已在某种程度上进行了试验并实行了微生物处理废油。就河流、湖泊和海洋的污染问题而论,规定变得更加严格了,微生物处理作为分解废油的方法将越来越多地被应用。这是由于这样的事实即用物理和化学方法从水中定量地除去石油并不令人满意而引起的。在排泄废水到河流、湖泊、海洋之前,在重力分离以后残留在废水中的少量的油(少于 100 ppm),可以用微生物分解作为最终排污处理。对实验工作作了说明,并对所用的某些微生物以及某些有关的生物化学反应进行了论述。由于明显的联系还包括了对合成洗涤剂分解的论述。利用微生物作用来精炼原油,包括有人考虑过的用微生物分离氮的问题以及引起人们注意的脱硫等问题[艾森伯格(Isenberg, 1961);基尔森巴姆(Kirshenbaum, 1961);克耐奇特(Knecht, 1961)],由于明显的局限性在第二部分中未作专门评论。钱帕纳特等(Champagnat, 1963)曾建议采用酵母作为脱蜡剂,这在实际上是一种炼制方法。然而就石油炼制本身,也就是说生产燃料和润滑油来看,物理化学处理远比微生物处理更为适应。



第三部分讨论了与石油工业有关的微生物的破坏作用。虽然在石油微生物学领域中的评论员对此明显地不热情欢迎,但这些情况还是非常重要而且是有意义的。其中涉及的某些有害过程的基本知识有助于与烃类的微生物代谢作用有关的一般调查研究,以及与硫酸盐还原细菌代谢作用有关的研究。

强调了硫酸盐还原细菌引起铁和钢的腐蚀,虽然对别的微生物的腐蚀影响也作了论述,专门阐述了微生物厌氧腐蚀的机理以及用来抑制或防止这类腐蚀的方法。

特别在美国,关于微生物堵塞油层有着大量的著述。在应用注水技术的二次采油中,经常发现油层中有着广泛的微生物群落。有时这可能是有害的,并可能要用杀灭生物或生物静力学方式来控制油藏中所包含的微生物的生长和活动。关于这个问题需要有更为肯定的信息。注水作业已经广泛应用,而且尚无表示说这个方法将会减少。事实上,石油工业中注水的应用在很多方面有了强大的改进;在使用和效果上都会增多和提高。

石油钻井需要在钻井泥浆中使用有机添加剂。而且这些有机添加剂由于使用的目的不同而其组成有所变化。根据它们的化学构型论述了它们对微生物的分解作用的可比敏感性。由于微生物对钻井泥浆的污染,能引起除了单纯破坏所需有机添加剂以外的其它问题,由于微生物活动加强,特别是硫酸盐还原细菌的腐蚀活动加强,会引起油井套管破裂。用来禁止或防止有机钻井泥浆添加剂的微生物分解的方法也作了论述。

已经有过相当数量的由于微生物严重污染贮存的汽油和喷气飞机燃料的事故。微生物在贮存的石油产物和水的界面处生长。最少有四种机理引起燃料的污染和变质,造成了燃料的质量降低或燃料系统严重堵塞或腐蚀。对微生物的烃类氧化和利用的学术性和工业性研究部分地使微生物学家把注意力集中在有关这些问题上。其次,现代发动机所耗费的燃料量是如此之大,在燃料中甚至只有有限的微粒物质(微生物细胞)也会造成重大危险。燃料过滤器很快就会被堵塞。

还包括了用于金属加工工业的乳化油微生物学的论述,并对沥青变质,特别是沥青用于地下管道防护涂层时的情况,提出了参考意见。

最后部分介绍了当代世界上美、苏等七个产油国家在 224 口油井中进行的微生物采油现场试验,这些试验已取得显著成果且有较完整资料,微生物活动进入了三次采油的领域,为深井稠油开采提供了新的手段,为提高采收率提供了新的途径。



